

## ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### Ηχητική εγκατάσταση για διαλέξεις

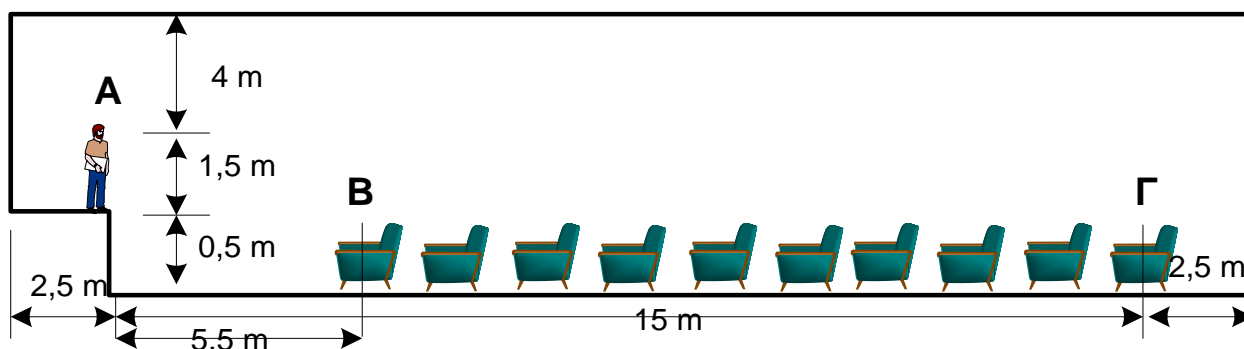
Στην αίθουσα του **Σχήματος 1** με διαστάσεις 20x12x6 m (ΜxΠxΥ) και μέση τιμή συντελεστή απορρόφησης  $\bar{\alpha} = 0,4$ , πρόκειται να τοποθετηθεί ηλεκτροακουστική εγκατάσταση για αναπαραγωγή ομιλίας, ενώ οι θέσεις του ακροατηρίου καλύπτουν επιφάνεια 10x10m (ΜxΠ). Η εγκατάσταση θα αποτελείται από ηχείο του οποίου τα τεχνικά χαρακτηριστικά δίνονται στο **Σχήμα 2**. Το ηχείο θα πρέπει να τοποθετηθεί σε κατάλληλη θέση έτσι ώστε να καλύπτει τις θέσεις του ακροατηρίου, υποθέτοντας ότι ο ακροατής κάθεται σε ύψος 0,5 m από το έδαφος. Το ηχείο θα οδηγηθεί από ενισχυτή ισχύος και το πρόγραμμα θα μεταδίδεται μονοφωνικά.

(α) Να υπολογισθεί ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας και η καταληπτότητα ομιλίας στη καλύτερη και στη χειρότερη θέση ακρόασης (χωρίς τη χρήση της εγκατάστασης). Θεωρήστε πως η κατευθυντικότητα της φωνής του ομιλητή είναι  $Q = 4$  (υποθέτουμε ότι είναι ανεξάρτητη γωνίας).

(β) Για τη συχνότητα 1 KHz, να υπολογισθεί η ηλεκτρική ισχύς που θα πρέπει να τροφοδοτηθεί το μεγάφωνο, ώστε να πετυχαίνει συνολική στάθμη 90 dB SPL στη μακρύτερα ευρισκόμενη θέση ακρόασης. Να υπολογισθεί η rms τάση και ρεύμα που θα τροφοδοτηθεί το ηχείο για την παραπάνω συνθήκη. Στη στάθμη αυτή συνυπολογίζεται και η συνεισφορά της αντήχησης.

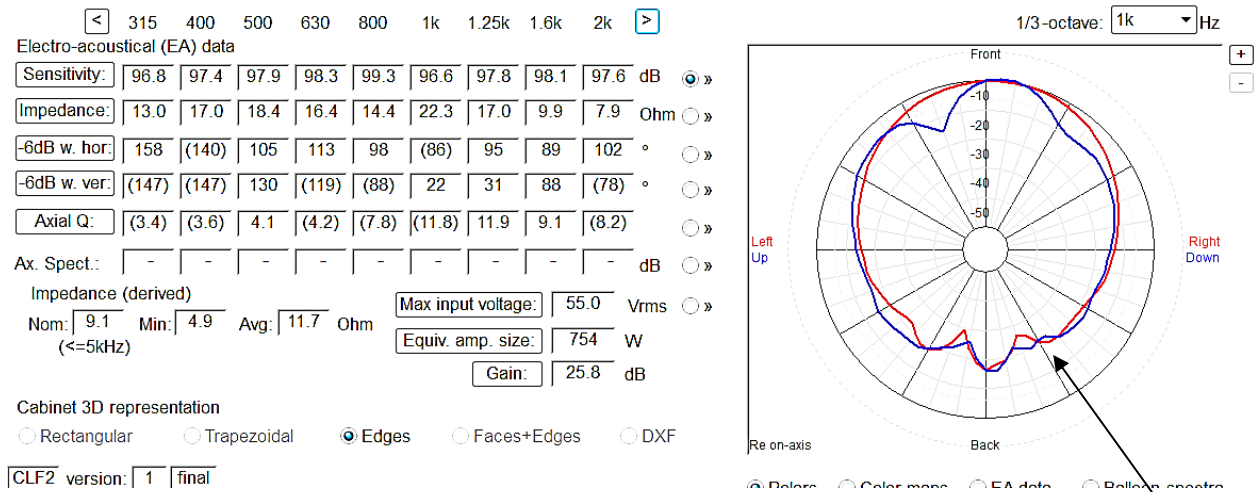
(γ) Για την ίδια συχνότητα και θέση ακρόασης να υπολογισθεί η ηλεκτρική ισχύς που θα πρέπει να τροφοδοτηθεί το μεγάφωνο, ώστε να πετυχαίνει στάθμη 90 dB SPL στη μακρύτερα ευρισκόμενη θέση ακρόασης λόγω μόνο του απευθείας σήματος. Στη στάθμη αυτή **δεν συνυπολογίζεται** και η συνεισφορά της αντήχησης.

(δ) Για την ίδια συνθήκη λειτουργίας, να υπολογιστεί η στάθμη λόγω μόνο του απευθείας σήματος από το ηχείο, στη πλησιέστερη θέση ακρόασης (χωρίς να συνυπολογίζεται και η συνεισφορά της αντήχησης). Έχοντας προδιαγράψει αποδεκτή διακύμανση ηχοστάθμης από την εγκατάσταση  $L_p \pm 2$  dB, σχολιάστε, αν η ηχητική κάλυψή του είναι η κατάλληλη.



Σχήμα 1

$$\text{Δίνεται: } W_{HA} = 10^{\frac{(L_p - SW - 10 \log(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R})) + 10 \log(\frac{Q}{4\pi} + \frac{4}{R})}{10}}$$



Σχήμα 2

### Λύση

(α) Να υπολογισθεί ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας και η καταληπτότητα ομιλίας στη καλύτερη και στη χειρότερη θέση ακρόασης (χωρίς τη χρήση της εγκατάστασης). Θεωρήστε πως η κατευθυντικότητα της φωνής του ομιλητή είναι  $Q = 4$ .

Ο χρόνος αντήχησης δίνεται από τον τύπο  $RT = \frac{0.161 V}{A}$ , όπου  $V$  ο όγκος του δωματίου και  $A = \sum_{i=1}^n (S_i a_i)$  με  $S_i$  και  $a_i$  το εμβαδό και ο συντελεστής απορρόφησης της επιφάνειας  $i$ .

Αρχικά υπολογίζουμε τον όγκο του δωματίου  $V_{Room}$  ως τη διαφορά δύο ορθογώνιων παραλληλεπίπεδων με όγκους  $V_1$  και  $V_2$  αντίστοιχα:

$$V_{Room} = V_1 - V_2$$

$$V_{Room} = (20 * 12 * 6) - (2.5 * 12 * 0.5)$$

$$V_{Room} = 1425 m^3$$

Δίνεται η μέση τιμή του συντελεστή απορρόφησης  $\bar{a} = 0.4$  άρα μένει να υπολογιστεί το άθροισμα των εμβαδών από τις 6 επιφάνειες που φαίνονται στο **Σχήμα 2α** για να βρούμε το  $A$  ως εξής:

$$S_{ολ} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6$$

$$S_{ολ} = (17.5 * 12) + (0.5 * 12) + (2.5 * 12) + (5.5 * 12) + (20 * 12) + (6 * 12)$$

$$S_{ολ} = 624 m^2$$

$$\text{Άρα: } A = S_{ολ} * \bar{a} = 624 * 0.4 = 249.6 m^2$$

Τέλος υπολογίζουμε τον χρόνο αντήχησης:

$$RT = \frac{0.161 V}{A}$$

$$RT = \frac{0.161 * 1425}{249.6}$$

$$RT = 0.9192 s$$

Στο επόμενο βήμα, υπολογίζουμε την καταληπτότητα ομιλίας στην καλύτερη και χειρότερη θέση ακρόασης, από τον τύπο  $\%ALCONS = \frac{200r^2RT^2(n+1)}{VQ}$ , όπου  $r$  η απόσταση πηγής-δέκτη,  $RT$ , ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας,  $V$  ο όγκος της αίθουσας,  $Q$  η κατευθυντικότητα της πηγής και  $n$  το πλήθος όμοιων πηγών, που στην περίπτωση της άσκησης είναι 0 οπότε παραλείπεται.

Από τον τύπο για το  $\%ALCONS$ , φαίνεται πως όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση, τόσο χειρότερη θα είναι η καταληπτότητα, επομένως η καλύτερη θέση ακρόασης είναι η θέση Β, ενώ η χειρότερη η θέση Γ. Υπολογίζουμε τις αποστάσεις από το **Σχήμα 3** που είναι μια απλουστευμένη μορφή του **Σχήματος 2**. Έχουμε:

$$r_1 = \sqrt{1.5^2 + 5.5^2} = 5.7 m$$

$$r_2 = \sqrt{1.5^2 + 15^2} = 15.07 m$$

Η κατευθυντικότητα της φωνής έχει δοθεί ως  $Q = 4$ , οπότε αντικαθιστούμε στον τύπο για τις δύο περιπτώσεις:

$$\%ALCONS_B = \frac{200r_1^2RT^2}{VQ}$$

$$\%ALCONS_B = \frac{200 * 5.7^2 * 0.9192^2}{1425 * 4}$$

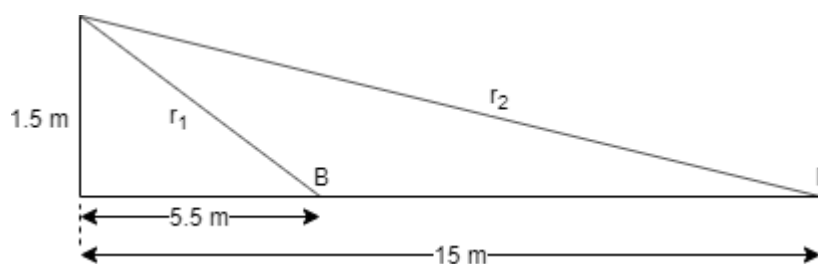
$$\%ALCONS_B = 0.98\%$$

Ομοίως για την θέση Γ:

$$\%ALCONS_\Gamma = \frac{200r_2^2RT^2}{VQ}$$

$$\%ALCONS_\Gamma = 7.33\%$$

Η καταληπτότητα ομιλίας είναι *τέλεια* στην θέση Β, και *πολύ καλή* στην θέση Γ με βάση τη θεωρία.



Σχήμα 3

(β) Για τη συχνότητα 1 KHz, να υπολογισθεί η ηλεκτρική ισχύς που θα πρέπει να τροφοδοτηθεί το μεγάφωνο, ώστε να πετυχαίνει συνολική στάθμη 90 dB SPL στη μακρύτερα ευρισκόμενη θέση ακρόασης. Να υπολογισθεί η rms τάση και ρεύμα που θα τροφοδοτηθεί το ηχείο για την παραπάνω συνθήκη. Στη στάθμη αυτή συνυπολογίζεται και η συνεισφορά της αντήχησης.

Το ηχείο τοποθετείται στην οροφή πάνω από τον ακροατή στοχεύοντας τη θέση Γ.

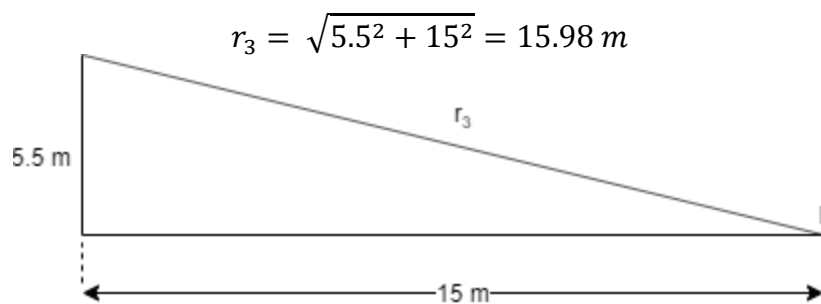
Από τον πίνακα στο **Σχήμα 2** παίρνουμε τις απαραίτητες πληροφορίες για το ηχείο στη συχνότητα που μας αφορά (1000 Hz), δηλαδή ότι:  $SW = 96.6 \text{ dB SPL/W/m}$ ,  $Q = 11.8$  και μέτρο σύνθετης αντίστασης  $|Z_{EI}| = 22.3 \Omega$ , η ευαισθησία, η κατευθυντικότητα και η αντίσταση αντίστοιχα.

Η ζητούμενη απαραίτητη ηλεκτρική ισχύς θα υπολογιστεί από τον τύπο που δίνεται στην εκφώνηση, που σημαίνει ότι πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η σταθερά του δωματίου  $R$ , που δίνεται από τον τύπο:

$$R = \frac{A}{1 - \bar{\alpha}}$$

Όλα τα μεγέθη είναι γνωστά, οπότε από απλή αντικατάσταση προκύπτει  $R = 416 \text{ Sabines}$ .

Πρέπει επίσης να υπολογίσουμε την απόσταση πηγής-δέκτη, αφού αυτή τη φορά το ηχείο-πηγή βρίσκεται στην οροφή όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4**.



**Σχήμα 4**

Επιθυμούμε να πετύχουμε συνολική στάθμη  $L_p = 90 \text{ dB SPL}$  στην πιο απομακρυσμένη θέση, δηλαδή στην θέση Γ. Με βάση αυτά, αντικαθιστούμε στον τύπο για την  $W_{HA}$  και έχουμε:

$$W_{HA} = 10^{\frac{(L_p - SW - 10 \log(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R})) + 10 \log(\frac{Q}{4\pi} + \frac{4}{R})}{10}}$$

$$W_{HA} = 10^{\frac{(90 - 96.6 - 10 \log(\frac{11.8}{4\pi * 15.98^2} + \frac{4}{416})) + 10 \log(\frac{11.8}{4\pi} + \frac{4}{416})}{10}}$$

$$W_{HA} = 15.60 \text{ W}$$

Για να υπολογίσουμε τώρα την τάση και το ρεύμα, χρησιμοποιούμε τους γνωστούς τύπους για την ηλεκτρική ισχύ  $W_{HA} = VI = I^2 R$  και βρίσκουμε:

$$I = \sqrt{\frac{15.60}{22.3}} = 0.84 \text{ A}$$

$$V = \frac{W_{HA}}{I} = 18.57 \text{ V}$$

(γ) Για την ίδια συχνότητα και θέση ακρόασης να υπολογισθεί η ηλεκτρική ισχύς που θα πρέπει να τροφοδοτηθεί το μεγάφωνο, ώστε να πετυχαίνει στάθμη 90 dB SPL λόγω μόνο του απευθείας σήματος. Στη στάθμη αυτή δεν συνυπολογίζεται και η συνεισφορά της αντήχησης.

Σε αυτή την περίπτωση, όπου δεν συνυπολογίζεται η συνεισφορά της αντήχησης, χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$L_p = SW + 10 \log W_{HA} - 20 \log r - b(\theta) \text{ dB}$$

Όπου  $SW$  (dB/W/m) είναι η στάθμη ευαισθησίας του ηχείου,  $W_{HA}$  (Watt) είναι η ηλεκτρική ισχύς τροφοδοσίας,  $r$  (m) η απόσταση ηχείου – δέκτη και  $b(\theta)$  (m) είναι η εξασθένιση εκτός άξονα εκπομπής του ηχείου, λόγω κατευθυντικότητας όπως προκύπτει από το πολικό διάγραμμα.

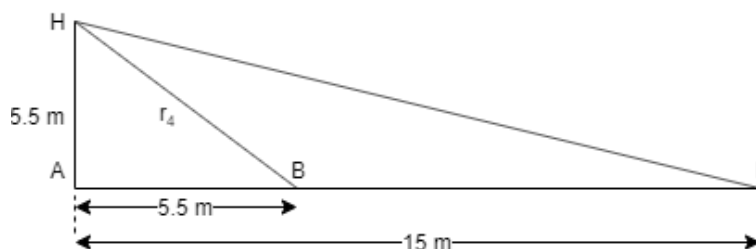
Σε αυτή την περίπτωση  $b(\theta) = 0$  αφού ο άξονας του ηχείου είναι στραμμένος προς το σημείο Γ και συνεπώς:

$$W_{HA} = 10^{\frac{(L_p + 20 \log r - SW)}{10}}$$

Όπως είναι αναμενόμενο, χωρίς τη συνεισφορά της αντίστοιχης στην παραγόμενη ηχοστάθμη, η ισχύς που απαιτείται είναι πολύ μεγαλύτερη αφού:

$$W_{HA} = 55.85 \text{ W}$$

(δ) Για την ίδια συνθήκη λειτουργίας, να υπολογιστεί η στάθμη λόγω μόνο του απευθείας σήματος από το ηχείο, στη πλησιέστερη θέση ακρόασης (χωρίς να συνυπολογίζεται και η συνεισφορά της αντήχησης). Έχοντας προδιαγράψει αποδεκτή διακύμανση ηχοστάθμης από την εγκατάσταση  $L_p \pm 2$  dB, σχολιάστε, αν η ηχητική κάλυψη που είναι η κατάλληλη.



Σχήμα 5

Σε αυτή την περίπτωση, (Σχήμα 5) η απόσταση ηχείου δέκτη είναι:

$$r_4 = \sqrt{5.5^2 + 5.5^2} = 7.78 \text{ m}$$

ενώ η γωνία στόχευσης του ηχείου (στον κάθετο άξονα) είναι:

$$\begin{aligned} \Gamma \hat{H} B &= \Gamma \hat{H} A - B \hat{H} A = \theta \\ \theta &= \tan^{-1} \frac{15}{5.5} - 45^\circ \approx 25^\circ \end{aligned}$$

Από το πολικό διάγραμμα στο Σχήμα 2β, προκύπτει προσεγγιστικά ότι  $b(\theta) = -15$  dB οπότε η αντικατάσταση στον τύπο, δίνει:

$$L_p = SW + 10 \log W_{HA} - 20 \log r - |b(\theta)| = 93.53 \text{ dB}$$

Με δεδομένο ότι στη θέση  $\Gamma$  η στάθμη θα είναι  $L_p = 90 \text{ dB}$  και αφού η αποδεκτή διακύμανση της ηχοστάθμης έχει οριστεί στα  $L_p \pm 2 \text{ dB}$ , παρατηρείται ότι το συγκεκριμένο ηχείο (ή και η επιλεγμένη θέση) δεν πληροί τις προϋποθέσεις. Χρειάζεται να επιλεγεί κάποιο ηχείο που είναι είτε πιο ευαίσθητο (μεγαλύτερο SW) ή κάποιο που έχει στενότερη γωνία εκπομπής στον κάθετο άξονα (μικρότερο  $b(\theta)$ ). Επιπλέον, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα ανύψωσης της θέσης ανάρτησης του ηχείου, θα μπορούσε να διερευνηθεί μικρή μετακίνηση του σε θέση που να είναι μεν στο ίδιο μέγιστο ύψος, αλλά πλησιέστερα προς το ακροατήριο.